

울돌목 조류에너지 개발 현황과 전망

이광수¹⁾, 염기대²⁾, 박진순³⁾, 강석구⁴⁾, 박우선⁵⁾, 한상훈⁶⁾, 정공일⁷⁾, 박정우⁸⁾

Development of Uldolmok Tidal Current Energy

Kwang-Soo Lee, Ki-Dai Yum, Jin Soon Park, Sok Kuh Kang, Woo-Sun Park, Sang-Hun Han, Gong-Il Jung and Jung Woo Park

Key words : Tidal current power generation(조류발전), Uldolmok narrow channel(울돌목 협수로), Tidal characteristics(조석특성), Turbine(수차)

Abstract : The Korean peninsula has a number of coastal sites where the rhythmic rising and lowering of water surface due to tides result in strong tidal current. The kinetic energy of these currents can be efficiently exploited by using tidal current turbines. The pilot tidal current power plant is to be constructed at the Uldolmok between Chindo and Haenam. Extensive coastal engineering research works have been carried out. This paper describes some observation results of field campaign, design of the supporting structure of a pilot plant of 1,000kW and a future tidal current power plant and so on.

Nomenclature

ρ : sea water density, kg/m^3
A : cross flow area
V : tidal current speed, m/s
 η : turbine efficiency
 kW : 10^3 watt

subscrip

TCP : Tidal current power plant

1. 서론

우리나라의 서·남해안은 세계적인 조력·조류에너지 부존지역으로 서해안에는 조수간만차를 이용한 조력발전, 남해안에는 지형적인 요인으로 발생하는 강한 조류를 이용한 조류발전이 유망하다. 조력발전의 경우 시화호에 수질개선과 무공

해 자연에너지 생산을 목적으로 상용조력발전소 건설이 추진되고 있다. 한편 조류발전의 경우는 우리나라에서 조류 유속이 가장 큰 울돌목을 대

- 1) 한국해양연구원
E-mail : kslee@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6300 Fax : (031)408-5823
- 2) 한국해양연구원
E-mail : kdyum@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6321 Fax : (031)408-5823
- 3) 한국해양연구원
E-mail : jpark@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6324 Fax : (031)408-5823
- 4) 한국해양연구원
E-mail : skkang@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6313 Fax : (031)408-5823
- 5) 한국해양연구원
E-mail : wspark@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6325 Fax : (031)408-5823
- 6) 한국해양연구원
E-mail : shhan@kordi.re.kr
Tel : (031)400-7805 Fax : (031)408-5823
- 7) (주)한아엔지니어링
E-mail : gijeong@hanah.co.kr
Tel : (02)2026-6411 Fax : (02)2026-6590
- 8) 한국전기연구원
E-mail : jwpark@keri.re.kr
Tel : (055)280-1485 Fax : (055)280-1547

상으로 실용화를 위한 기술개발을 수행중이다.

조류발전은 조류 유속이 빠른 곳에 수차발전기를 설치하여 해수의 운동에너지로부터 전기를 생산하는 발전방식이다. 자연적인 조류 흐름을 직접 이용한다는 점에서, 조력담에 해수를 가둬다가 흘려보내면서 낙차를 이용해 터빈을 돌려 전기를 생산하는 조력발전과 구분된다. 따라서 조류발전은 저수지를 확보하기 위해 댐을 막을 필요가 없고, 선박의 운항과 어류의 이동이 자유스러운 등 생태계에 영향이 적은 환경친화적인 신재생에너지 시스템이다.

전라남도 해남군 우수영과 진도군 녹진 사이를 잇는 협소한 해협인 울돌목은 지형적인 영향으로 인하여 강한 조류가 발생하는 곳으로 임진왜란 당시 충무공 이순신이 강한 조류를 이용하여 명량대첩을 거둔 전승지이다.

국내의 조류발전은 1963년에 울돌목에서 최초로 시도된 것으로 알려져 있으나, 그 당시의 발전시스템에 관한 자세한 기록은 남아 있지 않다. 한편 1986년에 울돌목 주변해역에 대한 조류발전가능성 조사⁽¹⁾가 실시된 이후 2000년까지는 경제성 등의 이유로 구체적인 후속 연구는 착수되지 않았다. 그러나 최근 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약의 발효 및 화석연료 고갈 등으로 인하여 신·재생에너지 개발 필요성은 증가 추세이다. 이러한 시대적 요구와 울돌목의 우수한 조류에너지 개발 여건을 바탕으로 조류에너지 실용화 기술 개발 연구가 2001년부터 한국해양연구원을 중심으로 수행되고 있다.

본 논문에서는 현재까지 울돌목 조류에너지 개발을 위하여 추진된 주요 조사결과 및 현황과 향후 개발전망에 대하여 제시하였다.

2. 울돌목 해역 특성

울돌목 협수로의 지형 및 수심 특성 조사결과, 울돌목의 길이는 약 1,000m, 폭이 약 500m, 그리고 단면적은 약 8,500m²이며, 진도대교 부근 울돌목 최협부의 경우 길이가 약 100m, 폭이 약 300m이고, 수로 중심해역에 수심이 약 20m 정도의 깊은 협수로 끝이 울돌목 수로를 따라 길게 발달되어 있다(Fig. 1). 그리고 지반조사 결과에 따르면, 해저는 퇴적층 없는 암반구조로 해저면으로부터 약 3m의 두께로 연암층이 형성되어 있고, 연암층 하부는 보통암층이 구성되어 있다.

이러한 암반은 응회암 혹은 각력응회암으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

이 해역의 연안물리적 특성을 살펴보면, 명량수도 전역에서 대조차는 약 3m 정도로 크지 않으나, 수도 남단에서의 고조시각이 서단에서 보다 1시간 40분 정도 빨라 창조(漲潮)와 낙조(落潮)시 수도의 양단에서 발생하는 약 2m의 수위차로 인해 울돌목 협수로에서 강한 유속(최대 약 6.5m/s, 13knots)이 발생하고 있어 최대 약 66만 kW의 조류에너지가 부존되어있는 것으로 추정되며, 이러한 강한 유속으로 인해 오래전부터 세계적으로도 조류발전의 적지로 알려져 있다.

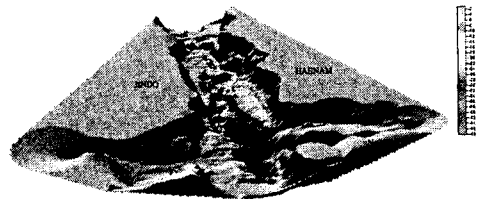
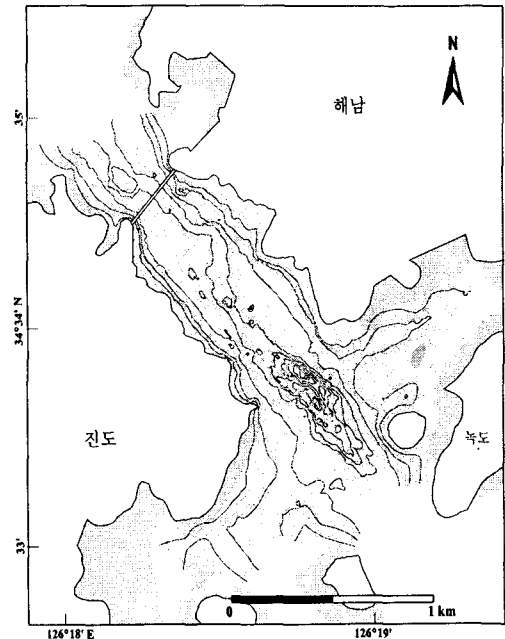


Fig.1 Bathymetric map around the Uldolmok.

3. 울돌목 조류발전

3.1 조류에너지

유체흐름(조류)에 의한 에너지는 다음식과 같

다.

$$P = 0.5 \rho AV^3 \quad (1)$$

ρ : 해수밀도
A : 통과단면적
V : 유속

즉, 유체 흐름에 의한 에너지는 유속의 3제곱에 비례하므로 유속이 큰 곳이 조류발전에 절대적으로 유리하다.

터빈을 설치하여 발전하는 경우의 발전출력은 다음식과 같다.

$$P_w = 0.5 n \rho AV^3 \quad (2)$$

n : 터빈효율

식 (2)에 나타난 바와 같이 발전출력은 조류 유속과 터빈의 효율에 따라 좌우되므로 유속이 2knots 내의인 곳에서도 가능하나, 경제성있는 발전을 위해서는 4knots 이상인 곳을 후보지로 선정한다.

조류발전은 풍력발전과 같이 유체의 운동에너지를 이용하여 터빈을 회전시켜 전기를 생산하나, 해수의 밀도가 공기에 비하여 약 840배 크기 때문에 같은 시설용량일 경우 풍력터빈에 비하여 조류터빈의 크기가 훨씬 적다.

한편 청정대체에너지로서의 조류에너지는 달, 태양 및 지구 등 천체의 인력에 기인하는 에너지로 태양계가 존속하는 한 지속되는 무한 청정 자연에너지이고, 조석의 주기성으로 인하여 발전출력의 장기에측이 가능하며, 전력계통내 조정이 용이하고 지속적인 전력공급이 가능하다는 장점이 있다. 반면에 발전이 단속되고, 육지에서 멀리 떨어진 곳에서 발전할 경우 송전선로 구축 등으로 인한 초기 투자비가 큰 단점이 있다.

3.2 조류발전 시스템

조류에너지 개발을 위한 필수 요소로는 조류 발전설비와 지지구조물로 분류할 수 있다. 조류 발전설비(조류발전 시스템)는 수차, 증속기, 발전기 및 전력변환장치 등으로 구성된다. 이 중에서 1차 에너지 변환장치인 수차의 효율은 조류발전 시스템의 중요한 요소이고, 왕복성 흐름 특성을 갖는 조류에너지를 효과적으로 취득할 수 있는 수차는 수직축 수차이다. 한편 1931년 Darrieus는 무낙차 수직축 수차를 구상하였으나, 몇가지 이유로 실용화되지 못하였다. 그 후 미국 Northeastern 대학의 Gorlov 박사는 기존의 다리

우스 터빈(에너지 변환효율 23%)보다 효율이 50% 정도 향상된 나선형 터빈(helical 터빈, 에너지 변환효율 35%)을 개발했다⁽²⁾(Fig. 2).

따라서 이 터빈을 강한 조류가 발생하는 지역에 적용할 경우 충분한 경제성을 갖출 수 있는 것으로 판단되어 Gorlov 박사와 공동으로 helical 터빈 현장적용성 실험 및 효율개선을 위한 각종 실험을 실시하고 있다(Fig. 3).



Fig. 2 Triple helical turbine.

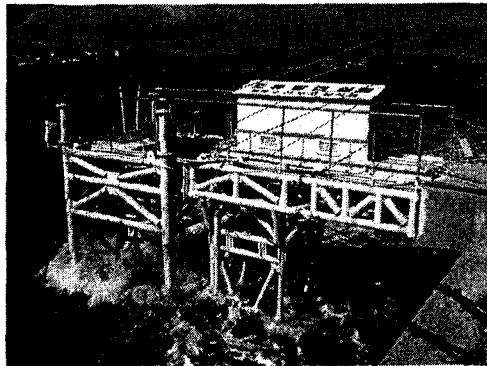
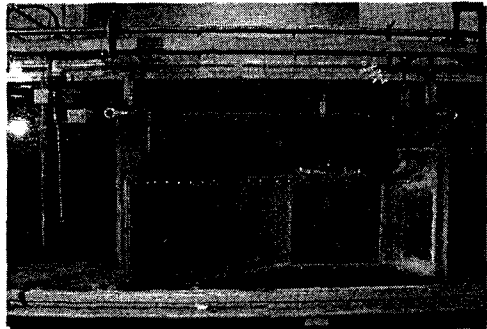


Fig. 3 Helical turbine performance experiment (upper: Lab, lower: Uldolmok).

수차 이외에 중요한 시스템요소의 하나인 조류발전용 500kW급 권선형유도발전기용 및 동기발전기용 전력변환장치를 개발하였다.

3.3 시험조류발전 구조물 설계 및 조류발전 평면배치계획 수립

울돌목 조류발전에 적용 가능한 발전구조물은 Jacket식, 부유식 및 Catamaran식 등이 있으며, 이 중에서 구조적 안정성, 경제성, 발전효율성 및 시공성 등을 고려하여 Jacket식으로 채택하여 발전구조물을 설계하였다. 한편 울돌목 현장시험 도중 나타난 그물, 로프, 페타이어, 통나무 등 대형부유폐기물로부터 시험시설 보호를 위하여 폐기물 차단막에 대한 보완설계를 실시하였다.

울돌목 조류발전 평면배치계획은 이 해역을 왕복하는 대상선박의 항로를 확보하고, 해수유동 수치모형 결과를 토대로 발전측면에서 유리한 안으로 수립하였다.

4. 울돌목 시험조류발전소 건설 및 향후 전망

현재 울돌목 조류에너지를 개발하기 위한 모델화 방식의 1000kW급 시험조류발전소 건설공사가 2007년 초 완공 예정으로 추진중에 있다(Fig. 4).

울돌목 시험조류발전소는 육상에서 발전구조물(Jacket 형태)을 제작한 후 해상 운송하여 사전에 굴착한 암반위에 거치하는 방식으로 공사가 진행될 예정이다. 또한 육상에서부터 발전구조물까지 90m의 연결교를 설치한다. Jacket 구조물과 상부하우스를 포함하는 시험조류발전소의 크기는 가로, 세로 및 높이가 각각 16m, 36m, 48m이고, 총중량은 약 1,000톤 정도이다.

시험조류발전소에는 다양한 형태의 수차, 발전기 및 전력변환장치 등이 설치되어 여러 분야에 대한 실증실험이 실시될 예정이다. 이를 통하여 우리나라의 주요 조류발전 후보지인 전라남도의 울돌목, 장죽수도 및 맹골수도와 경상남도의 대방수도 등의 해역에 적합한 조류발전 시스템을 도출하여 조류에너지 실용화를 도모할 예정이다.

울돌목 시험조류발전소 운영 및 개선 등을 통하여 실용화 기술개발 완료 이후 민자 유치 등을 통하여 울돌목 상용조류발전소 건설을 추진할 예정이다. 이 경우 적용 발전시스템에 따라 적정개발가능규모는 달라질 수 있으나, 현재 파악되는 개발규모는 3만kW에서 5만kW 사이일 것으로 전망

된다.

한편 울돌목 시험조류발전소가 완공되면 조류에너지 실용화 기술개발이외에도 시험발전소를 관광자원화하여 지역경제 활성화와 환경보존이 최고의 패러다임으로 대두되고 있는 21세기에 국가위상 제고가 기대된다.

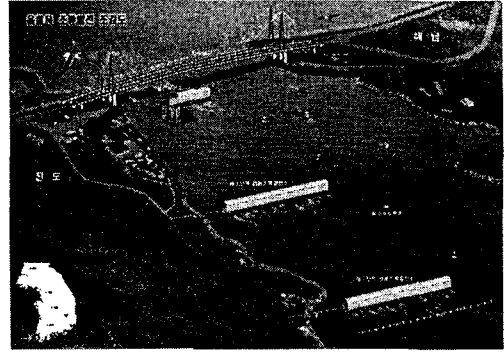


Fig. 4 Bird's-eye view of the Uldolmok tidal current power plant.

본 연구는 해양수산부의 “조력·조류에너지 실용화 기술개발” (PM29800) 사업의 연구비 지원으로 수행되었다.

References

- [1] Kepco. 1986. Korea Tidal Power Study-1986.
- [2] Alexander M. Gorlov. 1999. Helical turbines for harnessing zero-head hydro and wind energy. Assembly Environmental Forum.